

(株) 間組 技術研究所 正員 〇 沢野 哲夫
福岡 隆志

1. まえがき

液化天然ガス(略称LNG、液温 -162°C)や液化石油ガス(略称LPG、液温 -43°C)などの低温液化ガスの貯蔵タンクにおける内槽材の材料として、従来の金属系材料に代ってプラスチック系複合材料であるFRP(ガラス繊維補強プラスチック、Fiberglass Reinforced Plastics)を使用した貯蔵タンクの可能性を追求するために、FRPの室温・低温時における強度試験および種々の条件下で接合されたFRP接合部の室温・低温時における引張試験を行った。

2. FRPの強度試験

(1) 引張試験 FRPの引張試験方法はJIS K 6911に規定されているが、これに準拠した供試体の大きさでは冷却槽の取付けおよびFRPの引張弾性係数を求めるためのストレインゲージの貼布が困難であるために、供試体の大きさを長さ800mm、幅50mm、厚さ2.2~2.5mmとして、供試体数は各温度(室温、 -50°C 、 -100°C 、 -160°C)について5体とした。引張荷重の載荷は50ton万能試験機にて行い、供試体の冷却には液化窒素(液温 -196°C)を使用した。

(2) 曲げ試験 FRPの曲げ試験はJIS K 6911に準拠して行い、供試体数は引張試験と同様に各温度について5体とし、曲げ荷重の載荷は一軸圧縮試験機を用いた。

(3) 試験結果と考察 図-1にFRPの引張強度・曲げ強度・引張弾性係数と温度の関係を示す。引張強度に関しては、LNGの液温とほぼ等しい -160°C における引張強度は約 $40\text{kg}/\text{mm}^2$ で、室温時と比較すると46%の強度増加を示している。曲げ強度に関しては、温度が下がるに従い急激に強度増加しており、 -160°C においては約 $80\text{kg}/\text{mm}^2$ で、室温時と比較すると70%の強度増加を示しており、低温材料として好ましい材料であると考えられる。また、引張弾性係数は常温から -100°C までは多少増加傾向にあり、 -160°C では室温時の引張弾性係数とほぼ同じ値を示しており、これは現在実用化されているステンレス製内槽材(SUS304)の弾性係数が温度変化にはほとんど無関係であることと類似している。

3. FRP接合部の引張強度試験

(1) 接合条件 FRPの突き合わせ部の接合条件として以下の3項目を取上げた。図-2に突き合わせ接合部のオーバーレイFRPの仕様を示す。(びすみ計画中)

- ① 接合作業する面の状態。(水平、鉛直)
- ② タンク側壁のような鉛直面部で接合作業を行う場合の接合作業進行方向。(縦方向、横方向)
- ③ 突き合わせ部の目地の間隔として、目地の間げきあるいは目地の段差の許容値。

表-1 FRPの構成と特性

項 目	仕 様	備 考
樹 脂	不飽和エポキシ	
ガラス繊維	ロービングクロス	5708 μm
積層数	4 ply	ハンドレイアップ成形法
ガラス含量	60.5 %	JIS K 6919
空洞率	0.67 %	NDS-XXK-6701 ^{注1)}
比重	1.69	JIS K 6911
引張伸び率	2.1 % ^{注2)}	JIS K 6911

注1) 防衛庁暫定規格、ガラス繊維強化プラスチック積層品

注2) 室温における値を示す。

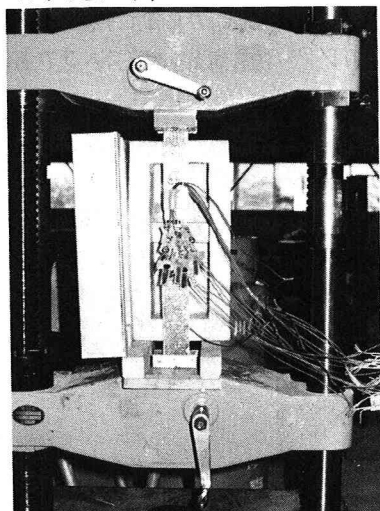


写真-1 FRPの低温引張試験状況

(2) 試験方法 接合条件の①および②に関する伏試体は、実際にFRPを接合する時の姿勢として、いわゆる鋼材の溶接用語でいう下向姿勢(水平)、立向姿勢(鉛直かつ縦方向)および横向姿勢(鉛直かつ横方向)とし、③に関する伏試体として、間げきの大きさを $h=0, 5, 10\text{mm}$ の3種類、段差の大きさを $V=1, 2, 4\text{mm}$ の3種類を取上げて、各伏試体3体製作して引張試験を行い、温度は室温および -160°C の2種類で行った。

(3) 試験結果と考察 図-3に各種接合FRPの単位幅当り引張耐力を示す。伏試体のほとんどはFRPの突き合わせ接合部のオーバーレイFRPの接着面で引張せん断破壊しており、接合部の強度指標として、突き合わせ部延長の単位幅当りの破壊時引張荷重(引張耐力)で表わした。図-3の試験結果によると、接合作業面の状態および接合作業の進行方向に関して引張耐力に有意な差はなく、また突き合わせ部の間げきおよび段差に関して同様であった。温度に関しては、平均的には室温における引張耐力の方が -160°C におけるよりも大きい値を示しており、各種のFRP接合部の引張耐力の温度別の総平均値は室温で約 580kg/cm 、 -160°C では約 470kg/cm であった。FRP製の内槽材を設計する場合には低温時の接合部分に特に留意すべきであり、接合部分の引張耐力を強化するためには図-2に示すオーバーレイFRPの積層構造を改良すべきであろう。

4. あとがき

FRPの引張強度および曲げ強度に関して、FRPが低温材料として好ましいことがわかった。しかし、FRP接合部のガラス繊維の構成は再検討すべき課題である。

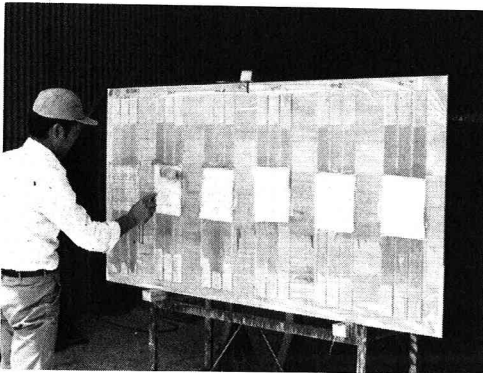


写真-2 接合作業状況 (接合作業面の状態: 鉛直)

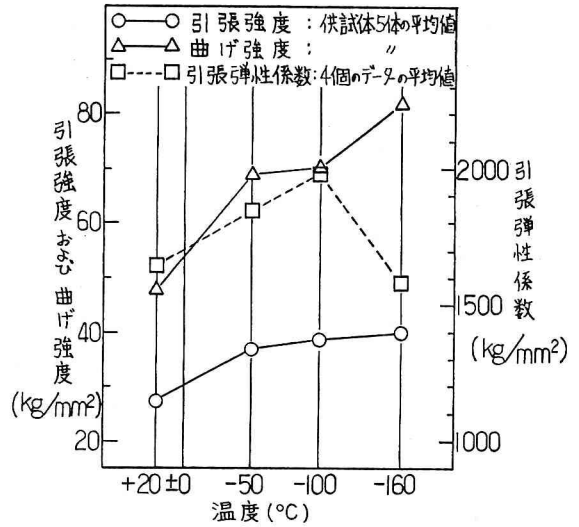


図-1 FRPの引張強度・曲げ強度・引張弾性係数と温度の関係

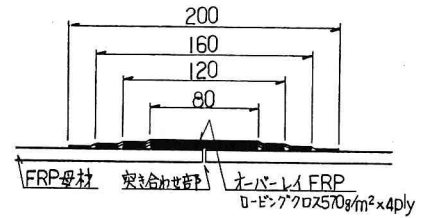


図-2 突き合わせ接合部のオーバーレイFRPの仕様

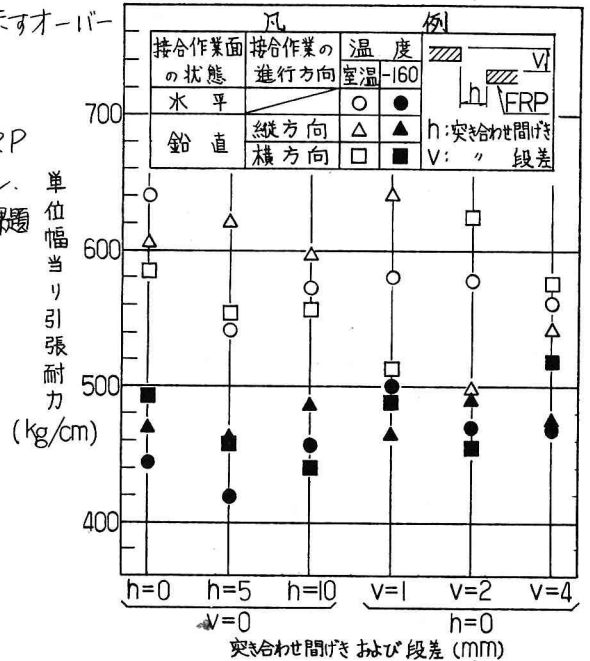


図-3 各種接合FRPの単位幅当り引張耐力